

Implementasi Algoritma Fuzzy C Means dan Stastitcal Region Merging Pada Segmentasi Citra

I Made Budi Adnyana

STMIK STIKOM Bali

Jln. Raya Puputan No.86, Renon, Denpasar

e-mail: budi.adnyana@stikom-bali.ac.id

Abstrak

Segmentasi citra berbasis clustering pada penelitian ini menggunakan metode Fuzzy C Means dengan menerapkan fungsi objektif Xie Beni Index. Preprocessing diterapkan pada model yang dikembangkan ini menggunakan metode Statistical Region Merging. Spatial function diterapkan pada metode Fuzzy C Means untuk mengurangi noise pada saat clustering. Evaluasi sistem dilakukan dengan pengukuran nilai cluster validity (Xie Beni Index), waktu eksekusi, dan jumlah iterasi. Hasil pengujian pada tiga buah citra uji menunjukkan metode yang diusulkan mampu melakukan segmentasi citra dengan baik.

Kata kunci: Segmentasi citra, fuzzy c means, statistical region merging

Abstract

Clustering based image segmentation in this study using Fuzzy C means algorithm with Xie Beni Index as an objective function. Preprocessing applied in this model using Statistical Region merging. Spatial function applied in Fuzzy C means method to reduce noise in clustering. The system evaluation is done by measuring cluster validity value (Xie Beni Index), execution time, and number of iteration. Experimental results on three test images illustrates the proposed method able to perform image segmentation well.

Keywords: image segmentation, fuzzy c means, statistical region merging

1. Pendahuluan

Segmentasi citra (image segmentation) merupakan teknik untuk membagi suatu citra menjadi beberapa daerah (region) di mana setiap daerah memiliki kemiripan atribut. Salah satu teknik dalam segmentasi citra adalah dengan clustering. Segmentasi citra berbasis cluster menggunakan data multidimensi untuk mengelompokkan piksel citra ke dalam beberapa cluster. Pada umumnya piksel di-cluster berdasarkan kedekatan jarak antar piksel [1]. Terdapat beberapa algoritma clustering yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan segmentasi citra seperti algoritma K-means, Fuzzy C-Means, ISODATA, dan Snob. Fuzzy C-Means merupakan algoritma yang populer digunakan dalam teknik fuzzy clustering. Pengembangan algoritma Fuzzy C-Means untuk segmentasi citra ini pun telah dilakukan dengan mengkombinasikannya dengan beberapa algoritma metaheuristik atau algoritma optimasi seperti Genetic Algorithm [2] dan Particle Swarm Optimization [3][4]. Perkembangan teknik-teknik segmentasi citra ini dilakukan untuk memperoleh hasil yang lebih bagus dan berkualitas. Namun, terkadang segmentasi citra memberikan hasil yang kurang memuaskan pada suatu citra tertentu. Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor variasi yang terdapat pada citra itu sendiri seperti pencahayaan, citra yang mengalami degradasi atau citra yang warnanya kabur, dan citra yang berisi noise. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkombinasikan dan mengimplementasikan algoritma Fuzzy C Means dengan Statistical Region Merging untuk proses segmentasi citra berbasis clustering, serta melakukan uji coba untuk mengetahui unjuk kerja sistem segmentasi citra yang diusulkan ini.

Metode Statistical Region Merging (SRM) merupakan metode yang sejenis dengan teknik region growing and merging. Pada region growing, region adalah kumpulan piksel yang homogen dan secara iterasi merupakan hasil gabungan dari region yang lebih kecil. Statistical Region Merging mengikuti urutan tertentu dari pemilihan region.[5]

Penelitian ini menerapkan algoritma Fuzzy C Means dengan Spatial Function untuk proses segmentasi citra berbasis clustering. Metode SRM digunakan sebagai preprocessing untuk menyederhanakan kompleksitas warna yang terdapat pada citra uji agar mudah disegmentasi. Citra yang digunakan untuk uji coba model yang dikembangkan ini adalah beberapa citra uji dari Weizmann Segmentation Dataset[6]. Pengujian dilakukan 9 kali untuk setiap citra uji, masing-masing dengan menggunakan 2 sampai 10 jumlah cluster, untuk mengetahui jumlah cluster optimal dari setiap citra uji.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Segmentasi Citra

Pengolahan citra digital merupakan sebuah disiplin ilmu yang mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan perbaikan kualitas gambar (peningkatan kontras, transformasi warna, restorasi citra), transformasi gambar (rotasi, translasi, skala, transformasi geometrik), melakukan pemilihan citra ciri (feature images) yang optimal untuk tujuan analisis, melakukan proses penarikan informasi atau deskripsi objek atau pengenalan objek yang terkandung pada citra, melakukan kompresi atau reduksi data untuk tujuan penyimpanan data, transmisi data, dan waktu proses data. Input dari pengolahan citra adalah citra, sedangkan output-nya adalah citra hasil pengolahan.

Segmentasi citra merupakan bagian dari proses pengolahan citra. Proses segmentasi citra ini lebih banyak merupakan suatu proses pra pengolahan pada sistem pengenalan objek dalam citra. Segmentasi citra (image segmentation) mempunyai arti membagi suatu citra menjadi wilayah-wilayah yang homogen berdasarkan kriteria keserupaan yang tertentu antara tingkat keabuan suatu pixel dengan tingkat keabuan pixel-pixel tetangganya, kemudian hasil dari proses segmentasi ini akan digunakan untuk proses tingkat tinggi lebih lanjut yang dapat dilakukan terhadap suatu citra, misalnya proses klasifikasi citra dan proses identifikasi objek. Adapun dalam proses segmentasi citra itu sendiri terdapat beberapa algoritma, diantaranya : algoritma Deteksi Titik, Deteksi Garis, dan Deteksi Sisi (berdasarkan Operator Robert dan Operator Sobel).

Segmentasi citra merupakan suatu bagian yang sangat penting dalam analisis citra secara otomatis, sebab pada prosedur ini obyek yang diinginkan akan di-scan untuk proses selanjutnya, misalnya: pada pengenalan pola. Algoritma segmentasi didasarkan pada dua buah karakteristik nilai derajat kecerahan citra, yaitu: discontinuity dan similarity. Kategori pertama, citra dipisahkan/dibagi atas dasar perubahan yang mencolok dari derajat kecerahannya. Aplikasi yang umum adalah untuk deteksi titik, garis, area, dan sisi citra. Selanjutnya pada kategori kedua, didasarkan atas thresholding, region growing, region splitting and merging, dan segmentasi berbasis clustering. Prinsip segmentasi citra bisa diterapkan untuk citra yang statis maupun dinamis.

2.2. Segmentasi Citra Berbasis Clustering

Segmentasi citra berbasis clustering menggunakan data multidimensi untuk mengelompokkan pixel citra ke dalam beberapa clustering. Data multidimensi pada citra ini maksudnya adalah banyaknya atribut atau komponen penyusun suatu citra, misalnya citra grayscale mempunyai satu buah dimensi, citra RGB mempunyai tiga buah dimensi, dan sebagainya. Pada umumnya pixel di-clustering berdasarkan kedekatan jarak antar pixel. Segmentasi berbasis clustering ini mulai populer sejak diimplementasikan pada aplikasi OCR (Optical Character Recognition), pengenalan sidik jari hingga remote sensing. Keberhasilan dari proses segmentasi berbasis clustering ini ditentukan dari keberhasilan dalam mengelompokkan fitur-fitur yang berdekatan ke dalam satu cluster.

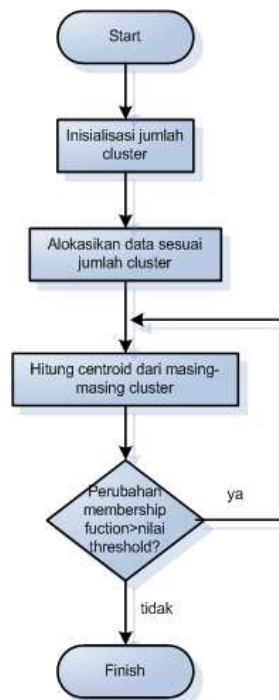
Metode-metode dalam segmentasi berbasis clustering di antaranya adalah metode iterasi, K-Means, Fuzzy C-means, jaringan syaraf Kohonen, dan berbagai teknik cluster lainnya. Salah satu metode yang sangat baik digunakan untuk segmentasi citra adalah Fuzzy C-Means clustering. Fuzzy C-Means ini merupakan algoritma k-means yang diimprovisasi dengan Fuzzy Set Theory dengan menerapkan derajat keanggotaan, dimana satu pixel citra dapat dimiliki oleh beberapa cluster. "Soft" clustering ini memberikan komputasi yang lebih tepat dalam menentukan keanggotaan dari cluster.

2.3. Algoritma Fuzzy C-Means

Fuzzy C-Means (FCM) clustering merupakan model pengelompokan fuzzy sehingga data dapat menjadi anggota dari semua kelas atau cluster terbentuk dengan derajat atau tingkat keanggotaan yang berbeda antara 0 hingga 1. Tingkat keberadaan data dalam suatu kelas atau cluster ditentukan oleh derajat keanggotaannya. Konsep dasar FCM, pertama kali adalah menentukan pusat cluster yang akan menandai lokasi rata-rata untuk tiap-tiap cluster. Pada kondisi awal, pusat cluster ini masih belum akurat. Tiap-tiap data memiliki derajat keanggotaan untuk tiap-tiap cluster. Dengan cara memperbaiki pusat cluster dan nilai keanggotaan tiap-tiap data secara berulang, maka dapat dilihat bahwa pusat cluster akan menuju

lokasi yang tepat. Perulangan ini didasarkan pada minimasi fungsi obyektif yang menggambarkan jarak dari titik data yang diberikan ke pusat dari cluster yang terboboti oleh derajat keanggotaan titik data dari himpunan fuzzy tersebut.

Algoritma Fuzzy C Means pertama kali diperkenalkan oleh Dunn (1974), kemudian dikembangkan oleh Bezdek (1981), kemudian direvisi oleh Rouben (1982), Trauwert (1985), Goth dan Geva (1989), Gu dan Gubuisson (1990), Xie dan Beni (1991). Namun, algoritma FCM dari Bezdek yang paling banyak digunakan. Fuzzy C-Means adalah salah satu teknik pengelompokan data yang mana keberadaan tiap titik data dalam suatu kelompok (cluster) ditentukan oleh derajat keanggotaan. Berbeda dengan k-means clustering, dimana suatu objek hanya akan menjadi anggota satu cluster, dalam Fuzzy C-Means setiap objek dapat menjadi anggota dari beberapa cluster. Batas-batas dalam k-means adalah tegas (hard) sedangkan dalam Fuzzy C-Means adalah soft. Fuzzy C-Means bersifat sederhana, mudah diimplementasikan, memiliki kemampuan untuk mengelompokkan data yang besar, lebih kokoh terhadap data outlier.

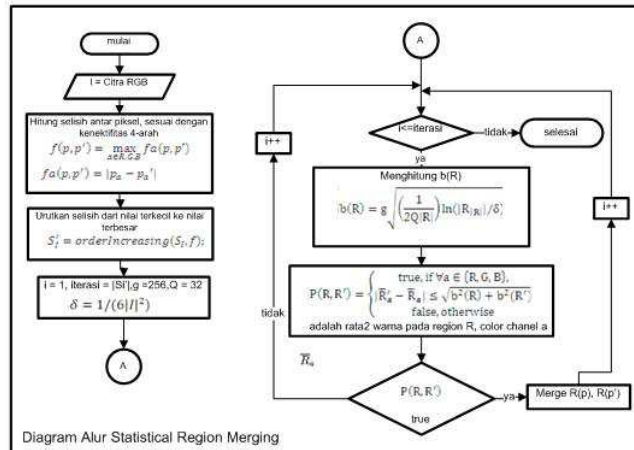


Gambar 1. Bagan Umum Algoritma *Fuzzy C Means*

2.4. Statistical Region Merging

Metode Statistical Region Merging (SRM) ini sejenis dengan teknik region growing and merging. Pada region growing, region adalah kumpulan piksel yang homogen dan secara iterasi merupakan hasil gabungan dari region yang lebih kecil. Statistical Region Merging mengikuti urutan tertentu dari pemilihan regions.

Algoritma ini digunakan untuk mengevaluasi nilai-nilai dalam sebuah rentang regional dan dikelompokkan bersama berdasarkan kriteria merging sehingga menghasilkan list yang lebih kecil. Pada bidang pengolahan citra digital berfungsi mengelompokkan piksel-piksel yang bertetangga berdasarkan shades yang jatuh dalam sebuah threshold tertentu (Qualification Criteria). Diagram alir segmentasi metode SRM dapat dilihat pada gambar 3.6. Parameter yang diperlukan adalah Q yaitu kompleksitas segmentasi.



Gambar 2. Diagram Alur SRM

2. Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang metode penelitian dan cara pendekatan yang digunakan pada penelitian, serta sistematika penelitian yang secara umum dijelaskan sebagai berikut.

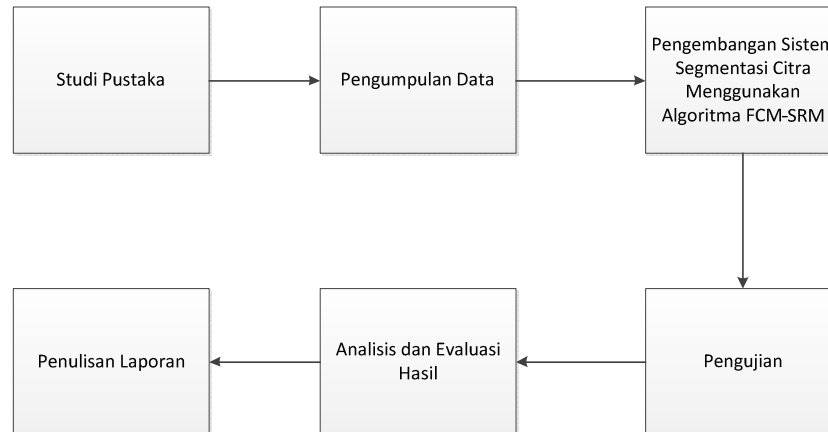
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian yang berjudul “Implementasi Algoritma Fuzzy C Means dan Statistical Region Merging Pada Segmentasi Citra” ini dilakukan di STIKOM Bali dan dilaksanakan selama 5 bulan.

3.2. Model Konseptual Penelitian

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh permasalahan yang muncul pada proses segmentasi citra berbasis clustering. Berdasarkan tinjauan pustaka diatas penelitian ini menggunakan variabel jumlah cluster, jumlah iterasi dan nilai presisi yang merupakan variabel dari algoritma Fuzzy C Means. Hasil dari proses ini adalah citra output yang sudah tersegmentasi sesuai dengan jumlah clusternya.

3.3. Sistematika Penelitian



Gambar 3. Bagan sistematika penelitian

3.4. Sumber Data

Berdasarkan sumbernya, data penelitian dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu data primer dan data sekunder. Pemahaman terhadap kedua jenis data tersebut diperlukan sebagai landasan dalam menentukan teknik serta langkahlangkah pengumpulan data penelitian.

Data Primer adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan oleh peneliti secara langsung dari sumber datanya. Data primer disebut juga sebagai data asli atau data baru yang memiliki sifat up to date. Untuk mendapatkan data primer, peneliti harus mengumpulkannya secara langsung. Teknik yang dapat

digunakan peneliti untuk mengumpulkan data primer antara lain observasi, wawancara, diskusi terfokus (focus grup discussion – FGD) dan penyebaran kuesioner.

Data Sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan peneliti dari berbagai sumber yang telah ada (peneliti sebagai tangan kedua). Data sekunder dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti Biro Pusat Statistik (BPS), buku, laporan, jurnal, dan lain-lain.

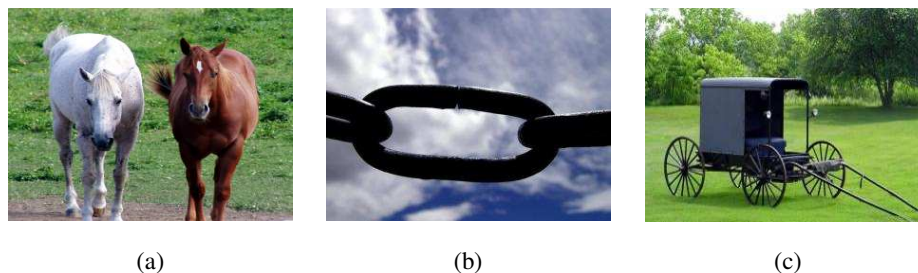
3. Hasil dan Analisis

4.1. Data Uji

Pengujian algoritma hybrid Fuzzy C-Means dan Cat Swarm Optimization yang diimplementasikan pada kasus segmentasi citra ini memerlukan data uji untuk mengetahui hasil dan kinerja algoritma yang diusulkan ini. Data uji yang dapat digunakan dalam kasus ini adalah berupa citra atau image, baik citra berwarna maupun citra grayscale. Data yang dipakai untuk menguji algoritma ini adalah beberapa jenis citra Standar Test Image agar dapat dilihat pada citra jenis apa algoritma ini bagus diterapkan.

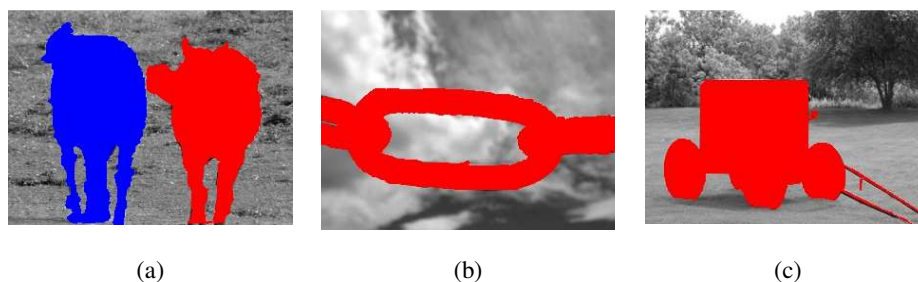
Citra uji standar (standard test image) adalah file citra digital yang telah digunakan oleh para peneliti untuk menguji berbagai algoritma pengolahan citra ataupun algoritma kompresi citra yang dikembangkan. Dengan menggunakan citra uji standar yang sama, maka peneliti yang berbeda dapat membandingkan hasil dari sistem yang mereka buat, baik secara visual maupun secara kuantitatif. Citra-citra yang dipilih adalah citra yang mewakili alam atau citra khusus lainnya dimana citra tersebut diperlukan untuk teknik pengolahan citra dalam suatu kasus tertentu. Citra uji lainnya dipilih karena menghadirkan berbagai tantangan untuk algoritma seperti rekonstruksi citra, detail dan tekstur yang halus, transisi dan tepi tajam, serta wilayah yang seragam. Selain itu, pada pengujian tertentu citra yang diuji juga akan ditambahkan noise untuk menambah variasi dalam citra uji.

Citra uji yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Weizmann Segmentation Dataset yang diperoleh dari situs www.weizmann-usa.org disediakan oleh Weizmann Institute of Science, dimana situs tersebut menyediakan berbagai macam citra uji yang khusus digunakan untuk proses segmentasi citra. Berbagai macam citra uji dengan beragam variasi dan karakteristik tersebut dibungkus kedalam sebuah dataset yang dapat diunduh secara gratis. Dari sekian banyak citra uji yang tersedia, pada penelitian ini hanya digunakan lima buah citra uji yang sudah dipilih berdasarkan karakteristik warna yang bervariasi.



Gambar 4. Citra Uji

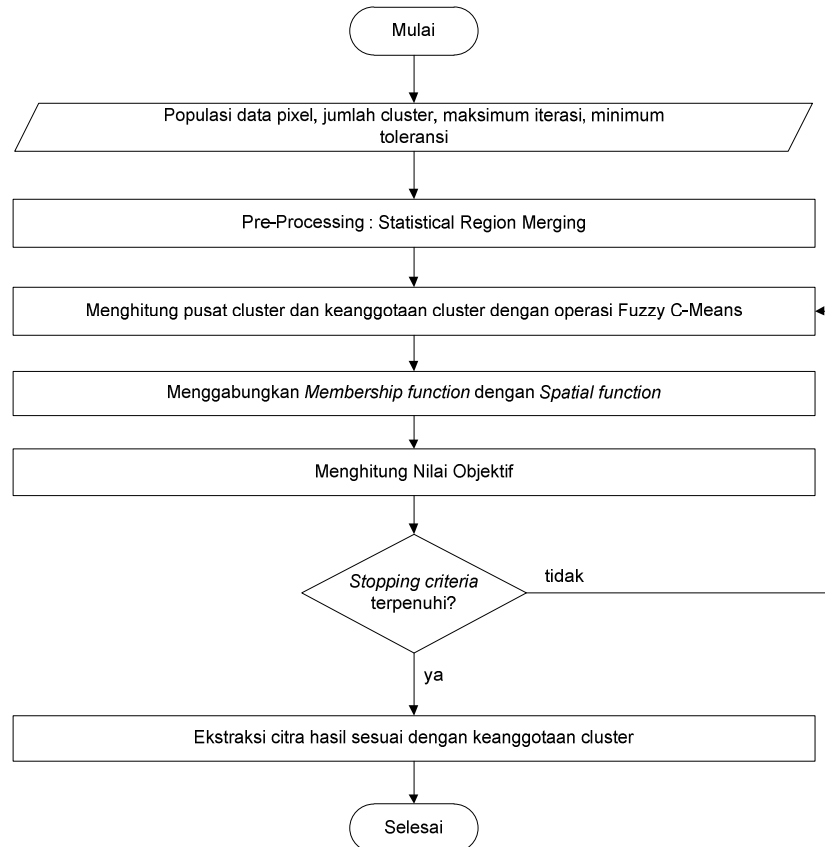
Citra uji yang terdapat dalam Weizmann Segmentation Dataset ini juga memuat citra ground truth segmentation, yaitu hasil segmentasi citra yang diharapkan dari masing-masing citra uji. Citra ground truth ini dibuat secara manual sesuai dengan persepsi manusia.



Gambar 5. Citra Ground Truth Segmentation

4.2. Pengembangan Model FCM-SRM Untuk Segmentasi Citra

Setelah data berupa citra uji yang diperlukan terkumpul, maka dilanjutkan dengan tahap pengembangan model. Model SRM digabungkan dengan algoritma clustering Fuzzy C-Means untuk melakukan segmentasi citra. Secara umum, model algoritma ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu melakukan pre-processing dengan metode SRM dilanjutkan melakukan clustering dengan Fuzzy C-Means. Data yang akan diolah pada model algoritma ini adalah data nilai piksel yang terdapat pada citra uji dalam ruang warna RGB. Jadi, input dari model ini adalah berupa populasi data piksel citra, jumlah cluster (k), maksimum iterasi dan minimum toleransi. Langkah-langkah dari segmentasi citra dengan menggunakan model FCM-SRM ini dideskripsikan sebagai berikut.



Gambar 6. Bagan Metode FCM-SRM Untuk Segmentasi Citra

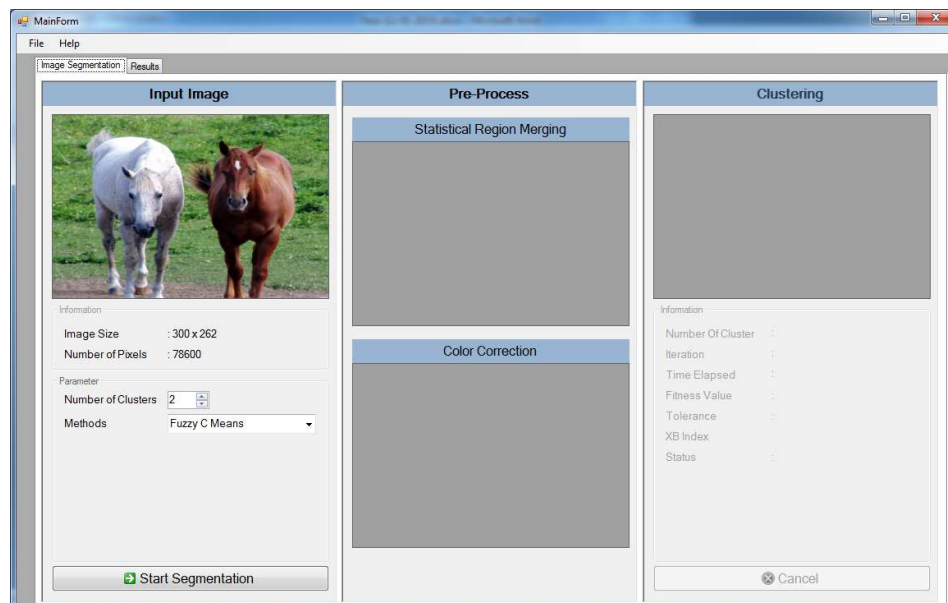
4.3. Pengkodean Program dan Implementasi Sistem

Antarmuka sistem ini berfungsi untuk mempermudah pengoperasian aplikasi segmentasi citra yang dikembangkan. Aplikasi ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman C# pada editor Visual Studio 2008. Aplikasi “Segmentasi Citra FCM-SRM” adalah antarmuka utama dari penelitian ini seperti yang terlihat pada Gambar 7. dibawah ini.



Gambar 7. Tampilan antarmuka sistem

Citra uji ditampilkan pada panel utama yang selanjutnya dapat diproses menggunakan metode FCM-SRM. Untuk memuat atau memasukkan citra uji pada aplikasi ini dilakukan dengan memilih “Open” yang terdapat pada menu “File”, lalu dilanjutkan dengan memilih file citra yang diinginkan dimana jenis file yang dapat dimuat disini adalah file gambar yang bertipe JPG, PNG, TIF, TIFF, BMP, dan GIF. Contoh citra uji yang ditampilkan pada panel utama dapat dilihat pada Gambar 8. dibawah ini.



Gambar 8. Contoh tampilan citra uji pada aplikasi

4.4. Pengujian dan Evaluasi Sistem

Pengujian dengan menggunakan algoritma FCM-SRM dilakukan sebanyak 9 kali pada setiap citra uji, dengan menggunakan variasi jumlah cluster mulai dari 2 s/d 10 cluster. Adapun beberapa parameter atau variabel tetap yang digunakan pada uji coba ini adalah:

- Maksimum iterasi = 100
- Minimum toleransi = 0.0000001

Data hasil pengujian terhadap masing-masing citra uji dijabarkan secara rinci sebagai berikut.

4.4.1. Pengujian citra uji “horses.png”

Hasil uji coba citra uji “horses.png” menggunakan algoritma FCM-SRM ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil uji citra “horses.png” dengan FCM-SRM

Jumlah Cluster	Jumlah Iterasi	Lama Eksekusi	Xie-Beni Index
2	9	00:00:07	0.20718
3	15	00:00:19	0.06764
4	14	00:00:25	0.11321
5	30	00:01:13	0.07253
6	12	00:00:38	0.53544
7	24	00:01:36	0.34253
8	26	00:02:07	0.32665
9	34	00:03:21	1.56001
10	19	00:02:13	1.49813
Rata-rata	20	80 detik	0.5248133

Berdasarkan hasil uji coba tersebut dapat dilihat jumlah cluster yang paling optimal adalah 3 cluster, dimana menghasilkan nilai XB Index yang paling kecil. Citra output hasil segmentasi menggunakan 3 cluster dapat dilihat pada gambar dibawah berikut.



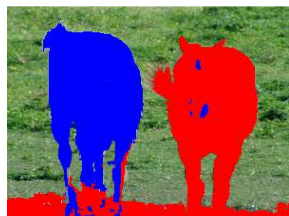
(a)



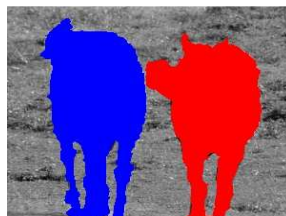
(b)



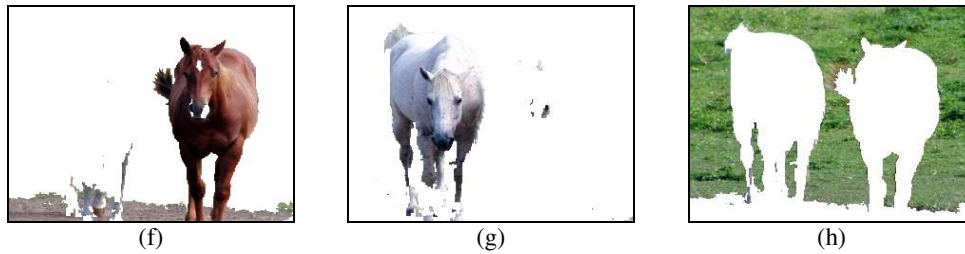
(c)



(d)



(e)



Gambar 9. Hasil segmentasi citra “horses.png” dengan metode FCM-SRM : (a) *original image*, (b) *preprocessed image*, (c) *segmented image*, (d) *final result*, (e) *ground truth segmentation*, (f) *cluster 1*, (g) *cluster 2*, (h) *cluster 3*

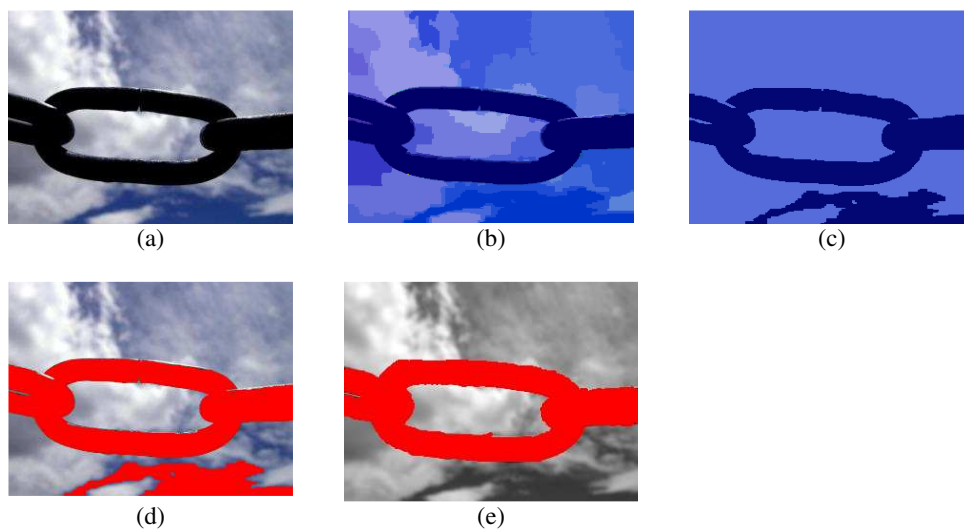
4.4.2. Pengujian citra uji “chain.png”

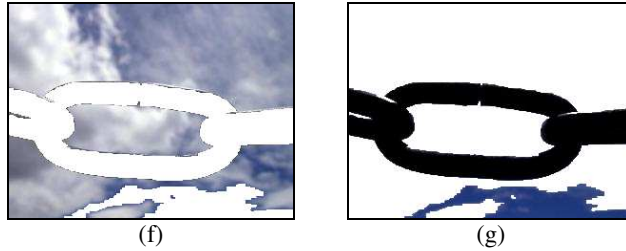
Hasil uji coba citra uji “chain.png” menggunakan algoritma FCM-SRM ditampilkan pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2. Hasil uji citra “chain.png” dengan FCM-SRM

Jumlah Cluster	Jumlah Iterasi	Lama Eksekusi	Xie-Beni Index
2	10	00:00:07	0.05578
3	20	00:00:21	0.10344
4	100	00:02:40	0.05911
5	16	00:00:35	0.30605
6	100	00:05:25	0.77657
7	100	00:06:00	0.22451
8	100	00:07:05	0.58285
9	100	00:09:02	0.06137
10	57	00:05:48	0.10779
Rata-rata	67	247 detik	0.2530522

Berdasarkan hasil uji coba tersebut dapat dilihat jumlah cluster yang paling optimal adalah 2 cluster, dimana menghasilkan nilai XB Index yang paling kecil. Citra output hasil segmentasi menggunakan 2 cluster dapat dilihat pada gambar dibawah berikut.





Gambar 10. Hasil segmentasi citra “chain.png” dengan metode FCM-SRM: (a) *original image*, (b) *preprocessed image*, (c) *segmented image*, (d) *final result*, (e) *ground truth segmentation*, (f) *cluster 1*, (g) *cluster 2*

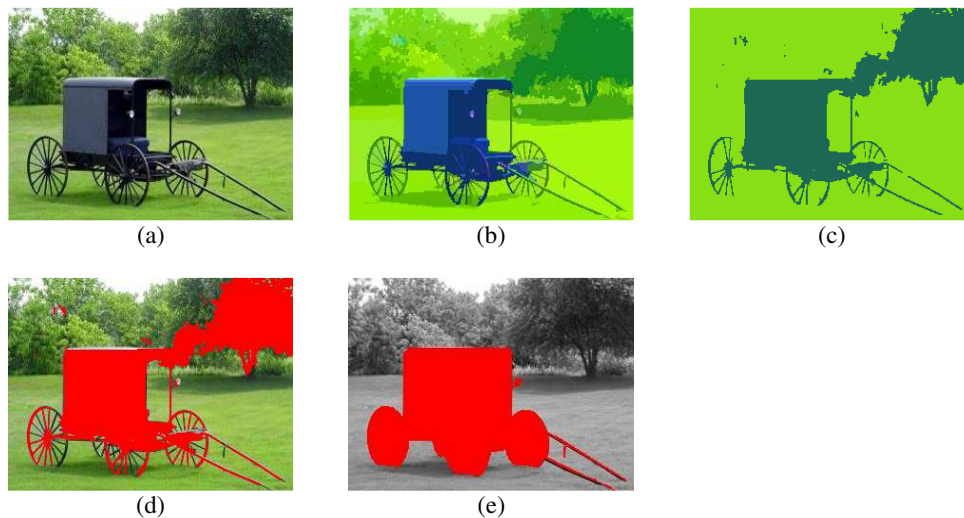
4.4.3. Pengujian citra uji “carriage.png”

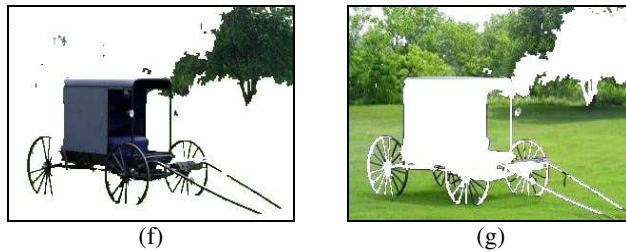
Hasil uji coba citra uji “carriage.png” menggunakan algoritma FCM-SRM ditampilkan pada Tabel 3. berikut.

Tabel 3. Hasil uji citra “carriage.png” dengan FCM-SRM

Jumlah Cluster	Jumlah Iterasi	Lama Eksekusi	Xie-Beni Index
2	12	00:00:07	0.09657
3	11	00:00:09	0.09769
4	9	00:00:11	0.20807
5	23	00:00:38	0.10056
6	37	00:01:20	0.15587
7	100	00:04:32	0.10936
8	100	00:05:34	0.29649
9	10	00:00:40	0.11041
10	100	00:07:57	0.10371
Rata-rata	45	141	0.1420811

Berdasarkan hasil uji coba tersebut dapat dilihat jumlah cluster yang paling optimal adalah 2 cluster, dimana menghasilkan nilai XB Index yang paling kecil. Citra output hasil segmentasi menggunakan 2 cluster dapat dilihat pada gambar dibawah berikut.





Gambar 11. Hasil segmentasi citra “carriage.png” dengan metode FCM-SRM: (a) *original image*, (b) *preprocessed image*, (c) *segmented image*, (d) *final result*, (e) *ground truth segmentation*, (f) *cluster 1*, (g) *cluster 2*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dicapai maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut Sistem segmentasi citra dengan metode FCMSRM yang dikembangkan ini mampu melakukan segmentasi citra dengan menggunakan metode Fuzzy C Means dengan spatial function. Proses preprocessing dengan menggunakan metode SRM berfungsi untuk menyederhanakan kompleksitas warna pada citra uji agar lebih mudah untuk disegmentasi. Algoritma Fuzzy C Means pada penelitian yang diusulkan ini menggunakan Xie Beni Index sebagai fungsi objektifnya. Evaluasi hasil menggunakan pengukuran terhadap nilai XB index, waktu eksekusi dan jumlah iterasi. Hasil uji coba sistem menunjukkan metode FCMSRM yang diusulkan ini mampu melakukan segmentasi pada citra uji.

Penelitian ini menggunakan metode Fuzzy C Means dikombinasikan dengan metode SRM untuk melakukan segmentasi citra. Meskipun dari hasil uji coba menunjukkan metode FCM-SRM ini sudah berhasil dalam melakukan segmentasi citra, dapat dilihat pada citra hasil segmentasi masih terdapat beberapa kekurangan atau belum sesuai dengan hasil yang diharapkan (citra ground truth segmentation). Pada penelitian selanjutnya agar dicoba untuk menerapkan algoritma optimasi seperti algoritma GA, PSO, ataupun CSO agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.

Daftar Pustaka

- [1] Darna Putra. Pengolahan Citra Digital. Yogyakarta : Andi Offset. 2010
- [2] Amiya Halder, Soumajit Pramanik. Dynamic Image Segmentation using Fuzzy C-Means based Genetic Algorithm. *International Journal of Computer Application*. 2011; 2(6)
- [3] Mahamed G. H., Omran, Andries P Engelbrecht, Ayed Salman. 2005. Dynamic Clustering using Particle Swarm Optimization with Application in Unsupervised Image Classification. *Transactions on Engineering, Computing and Technology*. 2005; 9 : 199-204
- [4] Swagatam Das, Ajith Abraham. Spatial Information Based Image Segmentation Using a Modified Particle Swarm Optimization Algorithm. IITA Professorship Program, School of Computer Science and Engineering. 2010
- [5] Nock, Richard; Frank Nielsen. Statistical Region Merging. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2004; 26 (11): 1–7
- [6] S Alpert, M Galun, R Basri, A Brandt. Image Segmentation by Probabilistic Bottom-Up Aggregation and Cue Integration. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR'07*. 2007 : 1-8
- [7] Keh-Shih Chuang, Hong-Long Tzeng, Sharon Chen, Jay Wu, Tzong-Jer Chen. Fuzzy c-means clustering with spatial information for image segmentation. *Computerized Medical Imaging and Graphics*. 2006; 30 : 9–15
- [8] Ahmed, M. N., Yamany, S. M., Mohamed, N., Farag, A. A., Moriarty, T. A. 2002. Modified Fuzzy C-Means Algorithm for Bias Field Estimation and Segmentation of MRI data. *IEEE Trans Med Imaging*. 2002; 21 : 193–9
- [9] Xie XL, Beni GA. 1991. Validity Measure For Fuzzy Clustering. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 1991; 3 : 841-6